

УДК 621.311

С.П. Агеев

Агеев Сергей Петрович родился в 1957 г., окончил в 1979 г. Архангельский лесотехнический институт, кандидат технических наук, доцент кафедры автоматизированных систем технической подготовки производства Севмашвуза. Имеет более 50 научных работ в области электроснабжения промышленных предприятий.



ЭНЕРГЕТИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ЭЛЕКТРОПРИВОДА МЕХАНИЗМА ОКОРКИ РОТОРНОГО ОКОРОЧНОГО СТАНКА

На основе физико-технических процессов окорки получена энергетическая характеристика окорочного станка, а также определены величины, влияющие на ее параметры.

Ключевые слова: окорочный станок, энергетическая характеристика, мощность, энергобаланс, производительность, сила окорки.

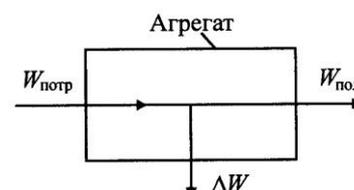
В основе нормирования и планирования электропотребления на лесопильно-деревообрабатывающих комбинатах (ЛДК) лежит метод, предусматривающий анализ, планирование и перспективное составление общезаводских балансов и показателей на основе нормализации энергетических балансов отдельных элементов и участков электрохозяйства предприятия. Поэтому перед тем как рассматривать схемы и формы построения энергетических балансов комбината, необходимо рассмотреть энергобалансы отдельных элементов производства.

Первичным звеном в производстве и электропотреблении предприятия является технологическая операция, осуществляемая на отдельном агрегате – приемнике электроэнергии. Без изучения энергетических балансов отдельных агрегатов в связи с физико-техническими особенностями соответствующих операций и процессов и техническими свойствами самих агрегатов невозможно осуществление нормирования и планирования электропотребления отдельных производств и комбината в целом.

Энергетический баланс всегда относится к определенной производительности агрегата и позволяет судить об экономичности работы оборудования только при данной его производительности.

Для энергетической оценки экономичности работы оборудования при различной производительности применяют энергетические характеристики, выражающие зависимость абсолютного или удельного расхода электроэнергии от производительности оборудования за эффективное время при постоянном режиме нагрузки (постоянной производительности).

В настоящей работе рассмотрены построение и анализ энергетической характеристики окорочных станков, которые являются одними из энергоемких потребителей лесопильного производства. Получение энергетических характеристик основано на разделении всех элементов энергобаланса



агрегата на постоянные (не зависящие от его производительности) и переменные (зависящие от производительности) и установлении функциональных зависимостей переменных элементов баланса от производительности оборудования.

Энергетический баланс элементарного процесса можно представить в виде схемы (структуры), показанной на рис. 1, и выразить уравнением

$$W_{\text{потр}} = W_{\text{пол}} + \Delta W,$$

где $W_{\text{потр}}$ – энергия, потребляемая агрегатом, кВт·ч;

ΔW – потери энергии;

$W_{\text{пол}}$ – полезная энергия.

При постоянном режиме нагрузки оборудования баланс энергии может быть заменен соответствующим выражением баланса мощности:

$$P_{\text{потр}} = \Delta P_{\Sigma} + P_{\text{пол}} = \Delta P_{\text{пост}} + \Delta P_{\text{пер}} + P_{\text{пол}},$$

где $P_{\text{потр}}$ – потребляемая мощность, кВт;

ΔP_{Σ} – суммарная мощность потерь энергии $\Delta P_{\Sigma} = \Delta P_{\text{пост}} + \Delta P_{\text{пер}}$;

$\Delta P_{\text{пост}}$ и $\Delta P_{\text{пер}}$ – мощность постоянных и переменных (нагрузочных) потерь;

$P_{\text{пол}}$ – полезная (выходная) мощность.

Для построения энергетической характеристики будем рассматривать окорочный станок как сочетание двух элементов: исполнительной части и механизма передачи (МП). На рис. 2 показана структурная схема передачи мощности в окорочном станке, приводимом в движение асинхронным двигателем (АД).

Исполнительной называют ту часть станка, которая выполняет заданную технологическую операцию, т.е. окорку древесины. К ней относят ротор с короснимателями (РО). Потребляемая ротором

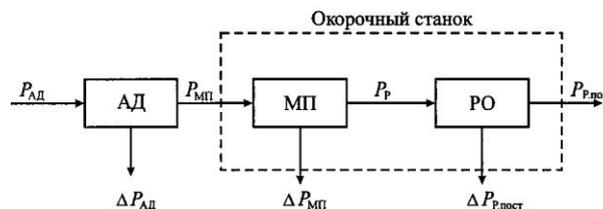


Рис. 2.

потребляемая ротором мощность $P_{\text{р}}$ содержит две составляющие: переменную (полезную) мощность $P_{\text{р.пол}}$ и постоянную $\Delta P_{\text{р.пост}}$ мощность потерь.

Таким образом,

$$P_{\text{р}} = P_{\text{р.пол}} + \Delta P_{\text{р.пост}} = c_{\text{р}} A^m + \Delta P_{\text{р.пост}}, \quad (1)$$

где $c_{\text{р}}$ – параметр, характеризующий энергоёмкость окорки;

A – производительность станка;

m – показатель степени.

Рис. 1.

При номинальной производительности $A_{\text{ном}}$ окорочного станка мощность, потребляемая ротором, имеет номинальное значение:

$$P_{\text{р.ном}} = c_{\text{р}} A_{\text{ном}}^m + \Delta P_{\text{р.пост}}. \quad (2)$$

Отношение потребляемой мощности $P_{\text{р}}$ к ее номинальному значению $P_{\text{р.ном}}$ представляет собой технологический коэффициент нагрузки станка:

$$\gamma_{\text{р}} = \frac{P_{\text{р}}}{P_{\text{р.ном}}} = \frac{A}{A_{\text{ном}}}. \quad (3)$$

Механизм передачи осуществляет преобразование движения в механической части электропривода станка. К нему относится ременная передача. Механизм передачи характеризуется потерями мощности, которые делят на две составляющие:

мощность постоянных потерь

$$\Delta P_{\text{МП.пост}} = a_{\text{МП}} P_{\text{р.ном}}; \quad (4)$$

мощность переменных потерь

$$\Delta P_{\text{МП.пер}} = \epsilon_{\text{МП}} P_{\text{р}} = \epsilon_{\text{МП}} \gamma_{\text{р}} P_{\text{р.ном}}, \quad (5)$$

где $a_{\text{МП}}$ – коэффициент постоянных потерь в МП;

$\epsilon_{\text{МП}}$ – коэффициент переменных потерь в МП.

Тогда мощность, подводимая к окорочному станку,

$$\begin{aligned} P_{\text{МП}} &= P_{\text{р}} + \Delta P_{\text{МП.пост}} + \Delta P_{\text{МП.пер}} = \gamma_{\text{р}} P_{\text{р.ном}} + a_{\text{МП}} P_{\text{р.ном}} + \epsilon_{\text{МП}} \gamma_{\text{р}} P_{\text{р.ном}} = \\ &= P_{\text{р.ном}} [\gamma_{\text{р}} (1 + \epsilon_{\text{МП}}) + a_{\text{МП}}] = P_{\text{р}} (1 + \epsilon_{\text{МП}}) + a_{\text{МП}} P_{\text{р.ном}}. \end{aligned} \quad (6)$$

Коэффициенты потерь в МП можно определить по двум показателям – номинальному КПД $\eta_{\text{ном.МП}}$ механизма передачи и отношению $\chi_{\text{МП}}$ потерь:

$$\chi_{\text{МП}} = \frac{\Delta P_{\text{МП.пост}}}{\Delta P_{\text{МП.пер.ном}}} = \frac{a_{\text{МП}}}{\epsilon_{\text{МП}}}. \quad (7)$$

Для простых кинематических схем обычно принимают $\chi_{\text{МП}} = 1$, т.е. полагают $a_{\text{МП}} = \epsilon_{\text{МП}}$. При этом номинальный КПД представляют как отношение полезной (отдаваемой) мощности $P_{\text{р.ном}}$ механизма передачи к потребляемой $P_{\text{МП.ном}}$, т.е.

$$\eta_{\text{ном.МП}} = \frac{P_{\text{р.ном}}}{P_{\text{МП.ном}}} = \frac{P_{\text{р.ном}}}{P_{\text{р.ном}} (1 + a_{\text{МП}} + \epsilon_{\text{МП}})} = \frac{1}{1 + a_{\text{МП}} + \epsilon_{\text{МП}}}, \quad (8)$$

откуда

$$a_{\text{МП}} + \epsilon_{\text{МП}} = \frac{1 - \eta_{\text{ном.МП}}}{\eta_{\text{ном.МП}}}. \quad (9)$$

Тогда, учитывая (1) и (6), составим уравнение энергетической характеристики $P_{\text{МП}} = f(A)$ механизма окорки станка:

$$\begin{aligned} P_{\text{МП}} &= (c_{\text{р}} A^m + \Delta P_{\text{р.пост}}) (1 + \epsilon_{\text{МП}}) + a_{\text{МП}} P_{\text{р.ном}} = \\ &= (1 + \epsilon_{\text{МП}}) c_{\text{р}} A^m + [(1 + \epsilon_{\text{МП}}) \Delta P_{\text{р.пост}} + a_{\text{МП}} P_{\text{р.ном}}] = c_{\text{ок}} A^m + \Delta P_{\text{ок.пост}}. \end{aligned} \quad (10)$$

Слагаемое

$$\Delta P_{\text{ок.пост}} = (1 + \epsilon_{\text{МП}}) \Delta P_{\text{Р.пост}} + a_{\text{МП}} P_{\text{Р.ном}} = P_{\text{Р.ном}} [a_{\text{Р}} (1 + \epsilon_{\text{МП}}) + a_{\text{МП}}] \quad (11)$$

является мощностью постоянных потерь в окорочном станке.

Здесь $a_{\text{Р}} = \frac{\Delta P_{\text{Р.пост}}}{P_{\text{Р.ном}}}$ – коэффициент постоянных потерь в роторе.

В рассматриваемом случае мощность $\Delta P_{\text{МП.пост}}$ постоянных потерь в МП удобно представлять в долях не от номинальной мощности $P_{\text{Р.ном}}$ ротора (см. (4)), а от постоянной составляющей $\Delta P_{\text{Р.пост}}$ этой мощности. Тогда

$$\Delta P_{\text{МП.пост}} = c_{\text{МП}} \Delta P_{\text{Р.пост}} = a_{\text{МП}} P_{\text{Р.ном}} = c_{\text{МП}} a_{\text{Р}} P_{\text{Р.ном}}. \quad (12)$$

Отсюда

$$c_{\text{МП}} = a_{\text{МП}} \frac{P_{\text{Р.ном}}}{\Delta P_{\text{Р.пост}}} = \frac{a_{\text{МП}}}{a_{\text{Р}}}; \quad a_{\text{МП}} = c_{\text{МП}} \frac{\Delta P_{\text{Р.пост}}}{P_{\text{Р.ном}}}. \quad (13)$$

Подставляя (13) в (11), получаем

$$\Delta P_{\text{ок.пост}} = P_{\text{Р.ном}} \left[\frac{\Delta P_{\text{Р.пост}}}{P_{\text{Р.ном}}} (1 + \epsilon_{\text{МП}}) + c_{\text{МП}} \frac{\Delta P_{\text{Р.пост}}}{P_{\text{Р.ном}}} \right] = \Delta P_{\text{Р.пост}} (1 + \epsilon_{\text{МП}} + c_{\text{МП}}). \quad (14)$$

Таким образом, мощность, потребляемая ротором окорочного станка,

$$P_{\text{МП}} = (1 + \epsilon_{\text{МП}}) c_{\text{Р}} A^m + \Delta P_{\text{Р.пост}} (1 + \epsilon_{\text{МП}} + c_{\text{МП}}). \quad (15)$$

Определяем слагаемые, входящие в (15).

Согласно [2], мощность, потребляемая окорочным станком,

$$P_{\text{МП}} = \frac{P_{\text{Р}}}{\eta_{\text{МП}}} = \frac{z F_{\text{Р}} v + G_{\text{Р}} \mu_{\text{П}} v_{\text{П}}}{\eta_{\text{МП}}}, \quad (16)$$

где z – число короснимателей;

$F_{\text{Р}}$ – сила сопротивления окорке на одном короснимателе, Н;

v – скорость резания короснимателя, м/с;

$G_{\text{Р}}$ – вес ротора, Н;

$\mu_{\text{П}}$ – коэффициент трения в подшипнике ротора;

$v_{\text{П}}$ – окружная скорость подшипника ротора, м/с;

$\eta_{\text{МП}}$ – КПД механизма передачи от двигателя к ротору.

Скорость резания

$$v = \sqrt{v_1^2 + u^2},$$

где v_1 – окружная скорость короснимателя, м/с;

u – скорость подачи бревна, м/с;

В связи с тем, что величина v_1 во много раз превышает u , можно считать, что $v = v_1$ [4].

В этом случае

$$v = \frac{D_{\text{Б}} \omega}{2}, \quad (17)$$

где D_B – диаметр окариваемого бревна, м;

ω – угловая скорость ротора, c^{-1} .

Окружная скорость подшипника ротора

$$v_{\Pi} = \frac{D_{\Pi} \omega}{2}, \quad (18)$$

где D_{Π} – диаметр подшипника, м.

Сила сопротивления окорке на одном короснимателе состоит из усилия, затрачиваемого на отделение коры, и силы трения [3]:

$$F_P = k_o \epsilon_o + F_{\Pi} \mu_K, \quad (19)$$

где k_o – удельное сопротивление окорке на 1 м ширины снимаемой полосы коры, Н/м;

ϵ_o – ширина полосы коры, снимаемой одним короснимателем, м;

F_{Π} – усилие прижима короснимателя к поверхности бревна, $F_{\Pi} = q\epsilon$, Н;

q – удельное давление короснимателя, Н/м;

ϵ – ширина контактной площадки (толщина) кулачка, м;

μ_K – коэффициент трения короснимателя о древесину, принимаем

$$\mu_K = 0,18 \dots 0,20.$$

Величину ϵ_o определяем по следующей формуле:

$$\epsilon_o = \frac{2\pi u}{\omega z}. \quad (20)$$

Удельное сопротивление окорке k_o зависит от состояния древесины, породы и ϵ_o , его определяют по специальным графикам [5].

На основании формул (16) – (20) получаем

$$\begin{aligned} P_{МП} &= \frac{z(k_o \epsilon_o + q\epsilon \mu_K) v + G_P \mu_{\Pi} v_{\Pi}}{\eta_{МП}} = z \left(k_o \frac{2\pi u}{\omega z} + q\epsilon \mu_K \right) \frac{D_B \omega}{2\mu_{МП}} + \frac{G_P \mu_{\Pi} v_{\Pi}}{\eta_{МП}} = \\ &= \frac{\pi k_o u + zq\epsilon \mu_K \omega 0,5}{\eta_{МП}} D_B + \frac{G_P \mu_{\Pi} v_{\Pi}}{\eta_{МП}}. \end{aligned} \quad (21)$$

Учитывая, что производительность станка $A = \pi D_B^2$, имеем

$$D_B = \sqrt{\frac{A}{\pi u}}. \quad (22)$$

Подставляем (22) в (21):

$$P_{МП} = \frac{\pi k_o u + zq\epsilon \mu_K \omega 0,5}{\eta_{МП} \sqrt{\pi u}} \sqrt{A} + \frac{G_P \mu_{\Pi} v_{\Pi}}{\eta_{МП}} = c_{ок} \sqrt{A} + \Delta P_{ок.пост}. \quad (23)$$

Выражение (23) представляет собой уравнение энергетической характеристики механизма окорки станка, которое дает возможность проана-

лизировать влияние технических параметров станка на процесс потребления мощности.

Предполагая, что переменные потери в асинхронном двигателе изменяются пропорционально первой степени изменения нагрузки, можно получить формулы для определения коэффициентов переменных ϵ_D и постоянных a_D потерь в двигателе:

$$\epsilon_D + a_D = \frac{1}{\eta_{\text{ном.Д}}} - 1 = \frac{1 - \eta_{\text{ном.Д}}}{\eta_{\text{ном.Д}}}$$

Для определения коэффициентов потерь необходимо также знать отношение потерь:

$$\chi_D = \frac{\Delta P_{\text{пост.Д}}}{\Delta P_{\text{пер.Д.ном}}} = \frac{a_D}{\epsilon_D}.$$

Значения χ_D лежат в пределах от 0,5 до 1,0, их определяют по кривым [1].

Следует также учесть, что номинальной нагрузкой для двигателя будет номинальная мощность механизма (станка), которую рассчитывают по формуле (6) при $\gamma_p = 1$.

Таким образом, номинальная мощность на валу двигателя

$$P_{\text{ном.Д}} = P_{\text{МП.ном}} = P_{\text{р.ном}}(1 + \epsilon_{\text{МП}} + a_{\text{МП}}). \quad (24)$$

Мощность, потребляемая двигателем из сети при номинальной нагрузке ($A = A_{\text{ном}}$), может быть вычислена по аналогии с (24):

$$P_{\text{АД.ном}} = P_{\text{МП.ном}}(1 + a_D + \epsilon_D),$$

при произвольной нагрузке:

$$P_{\text{АД}} = P_{\text{МП.ном}}[\gamma_{\text{МП}}(1 + \epsilon_D) + a_D], \quad (25)$$

где $\gamma_{\text{МП}} = \frac{P_{\text{МП}}}{P_{\text{МП.ном}}}$ – коэффициент загрузки МП станка.

Из (25) можно найти зависимость мощности, потребляемой двигателем из сети, от производительности механизма, т.е. $P_{\text{АД}} = f(A)$:

$$\begin{aligned} P_{\text{АД}} &= P_{\text{МП.ном}}[\gamma_{\text{МП}}(1 + \epsilon_D) + a_D] = \gamma_{\text{М}} P_{\text{МП.ном}}(1 + \epsilon_D) + a_D P_{\text{МП.ном}} = \\ &= P_{\text{МП}}(1 + \epsilon_D) + a_D P_{\text{МП.ном}} = (1 + \epsilon_D)(c_{\text{ок}} \sqrt{A} + \Delta P_{\text{ок.пост}}) + a_D P_{\text{МП.ном}} = \\ &= (1 + \epsilon_D)c_{\text{ок}} \sqrt{A} + (1 + \epsilon_D)\Delta P_{\text{ок.пост}} + a_D P_{\text{МП.ном}} \end{aligned}$$

или

$$P_{\text{АД}} = c\sqrt{A} + \Delta P_{\text{пост}}. \quad (26)$$

Уравнение (26) представляет собой выражение энергетической характеристики электропривода механизма окорки роторного окорочного

станка. Анализ энергоемкости процесса окорки с помощью энергетических характеристик является предметом дальнейших исследований.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Алексин, М.В.* Экономия энергоресурсов в лесной и деревообрабатывающей промышленности [Текст] / М.В. Алексин [и др.]. – М.: Лесн. пром-сть, 1982. – 216 с.
2. *Залегаллер, Б.Г.* Технология и оборудование лесных складов [Текст]: учеб. для вузов / Б.Г. Залегаллер, П.В. Ласточкин, С.П. Бойков. – 3-е изд., испр. и доп. – М.: Лесн. пром-сть, 1984. – 352 с.
3. *Пигильдин, Н.Ф.* Окорка лесоматериалов [Текст] / Н.Ф. Пигильдин. – М.: Лесн. пром-сть, 1982. – 192 с.
4. *Симонов, М.Н.* Механизация окорки лесоматериалов [Текст] / М.Н. Симонов. – М.: Лесн. пром-сть, 1984 – 216 с.
5. *Симонов, М.Н.* Окорка древесины [Текст] / М.Н. Симонов, В.Г. Югов. – М.: Лесн. пром-сть, 1972 – 128 с.

Севмашвтуз
Поступила 29.08.05

S.P. Ageev

Energy Characteristic of Electric Drive of Barking Mechanism of Rotor Debarking Machine

Based on physico-technical barking processes the energy characteristic of the debarking machine is obtained as well as values affecting its parameters are determined.